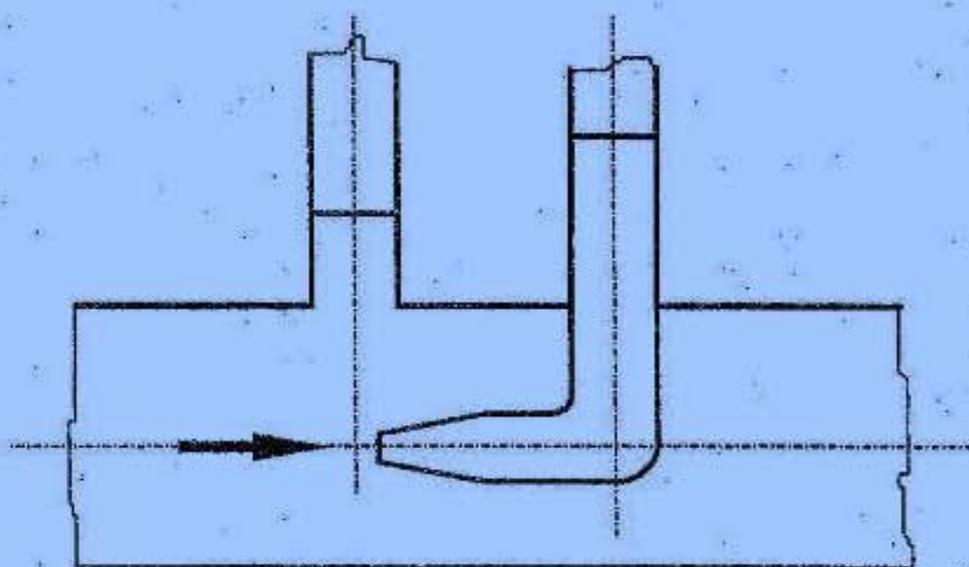


ГИДРАВЛИКА

Часть 2



Москва – 2010

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЛЕСА»

ГИДРАВЛИКА

Часть вторая

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
университета в качестве учебно-методического пособия
к проведению лабораторных работ для студентов специальностей
150405 Машины и оборудование лесного комплекса,
210200 Автоматизация технологических процессов и производств,
250403 Технология деревообработки,
240406 Технология химической переработки древесины

5-е издание



Москва

Издательство Московского государственного университета леса
2010

УДК 621.22 (075.8)

Г46

Разработано в соответствии с Государственным образовательным стандартом ВПО 2000 г. для направлений подготовки дипломированных специалистов 651600 «Технологические машины и оборудование», 657900 «Автоматизированные технологии и производства», 656300 «Технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» и 655000 «Химическая технология органических веществ и топлива» на основе примерной программы дисциплины «Гидравлика (Механика жидкости и газа)». Рекомендовано для студентов очной и заочной форм обучения

**Авторы: Г. Н. Афанасьев, А. С. Савицкий, А. А. Шевляков,
М. В. Лопатников**

Рецензент: кандидат технических наук, доцент А. В. Хроменко

Работа подготовлена на кафедре процессов и аппаратов
деревообрабатывающих производств

Г46 Гидравлика. Ч. 2. : учеб.-методич. пособие. – 5-е изд. – М. : ГОУ
ВПО МГУЛ, 2010. – 20 с. : ил.

УДК 621.22 (075.8)

Учебное издание

**Афанасьев Геннадий Николаевич
Савицкий Анатолий Станиславович
Шевляков Александр Александрович
Лопатников Михаил Викторович**

**ГИДРАВЛИКА
Часть вторая**

Редактор Л. Г. Кулагина

Компьютерный набор и верстка А. А. Шевлякова

По тематическому плану внутривузовских изданий учебной литературы на 2010 г.

Подписано в печать 21.01.2010. Формат 60×90 1/16. Бумага 80 г/м²
Гарнитура «Таймс». Ризография. Усл. печ. л. 1,25.
Тираж 150 экз. Заказ № 12.

Издательство Московского государственного университета леса. 141005, Мытища-5,
Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ.
E-mail: izdat@mgul.ac.ru

По вопросам приобретения литературы издательства ГОУ ВПО МГУЛ
обращаться в отдел реализации.

Телефон: (498) 687-41-33, E-mail: kurilkina@mgul.ac.ru

© Г. Н. Афанасьев, А. С. Савицкий,
А. А. Шевляков, М. В. Лопатников, 2003
© ГОУ ВПО МГУЛ, 2010

Введение

Часть II учебно-методического пособия посвящена изучению одного из важнейших разделов гидравлики — гидродинамики.

Учебно-методическое пособие содержит описание конструкции и гидравлической схемы универсального лабораторного стенда, методов измерения гидравлических величин и описание первых двух лабораторных работ по гидродинамике, посвященных изучению режимов движения жидкости и экспериментальной иллюстрации уравнения Бернулли.

Описание каждой лабораторной работы содержит основные теоретические положения, цель работы, порядок выполнения, обработку данных, анализ результатов и контрольные вопросы.

Все лабораторные работы выполняются на универсальных лабораторных стендах кафедры процессов и аппаратов деревообрабатывающих производств. На каждом из шести лабораторных стендов могут выполняться последовательно шесть лабораторных работ. Общие требования к порядку выполнения лабораторных работ и правила техники безопасности приведены в части I настоящих методических указаний.

УСТРОЙСТВО УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

1. Характеристика и описание универсального лабораторного стенда

Универсальный лабораторный стенд предназначен для проведения следующих лабораторных работ: исследование режимов течения жидкости; экспериментальная иллюстрация уравнения Д. Бернулли для потока реальной жидкости; определение постоянной расходомера Вентури; определение потерь напора по длине; определение коэффициентов местных сопротивлений; исследование истечения жидкости через отверстия и насадки.

Конструкция стенда обеспечивает удобство проведения работ, свободный доступ ко всем органам управления и наглядность. Исследуемые модели выполнены из прозрачного материала; что обеспечивает визуальное наблюдение течения жидкости. Подготовка стенда к работе; пуск и регулирование режимов опыта производятся непосредственно студентами, а включение насосной установки только преподавателем или учебным мастером.

Универсальный лабораторный стенд (рис. 1) смонтирован на лабораторном столе 1 и включает в себя следующие рабочие участки: прибор Рейнольдса 2; трубку для иллюстрации уравнения Бернулли 5 с монтированным туда расходомером Вентури; поворотную турель 18 с моделями отверстий и насадок различной формы; блок моделей гидравлических сопротивлений 15. Все рабочие участки соединены с напорным баком 17, в котором с помощью системы перелива поддерживается постоянный уровень жидкости (воды). В процессе проведения экспериментов жидкость из рабочих участков поступает в систему измерения расхода 13, а затем в сливную систему 10. Для подачи жидкости из бака 17 в рабочие участки и регулирования ее расхода служат регулирующие вентили 3, 4, 11 и затвор с рукояткой 20.

На вертикальной панели над трубкой для иллюстрации уравнения Бернулли размещены пять пар стеклянных трубок 9, позволяющих измерять в пяти ее сечениях полный гидродинамический (трубки Пито) и гидростатический напоры (пьезометры) в потоке жидкости. С помощью кареток 6, которые соединены резиновыми нитями 7 и могут передвигаться по стойкам 8, можно фиксировать положение уровня воды в трубках Пито и пьезометрах в каждом из пяти сечений.

Лоток 14 используется как промежуточная емкость при изучении истечения жидкости из отверстий и насадков. Бачок 19 предназначен для размещения подкрашенной жидкости, используемой при проведении опытов на приборе Рейнольдса.

На боковой стенке напорного бака 17 расположен блок пьезометрических трубок 16, соединенных гибкими шлангами с блоком гидравличе-

ских сопротивлений 15. Этот блок позволяет определить потери напора при течении жидкости по длине трубопровода и на различных гидравлических сопротивлениях.

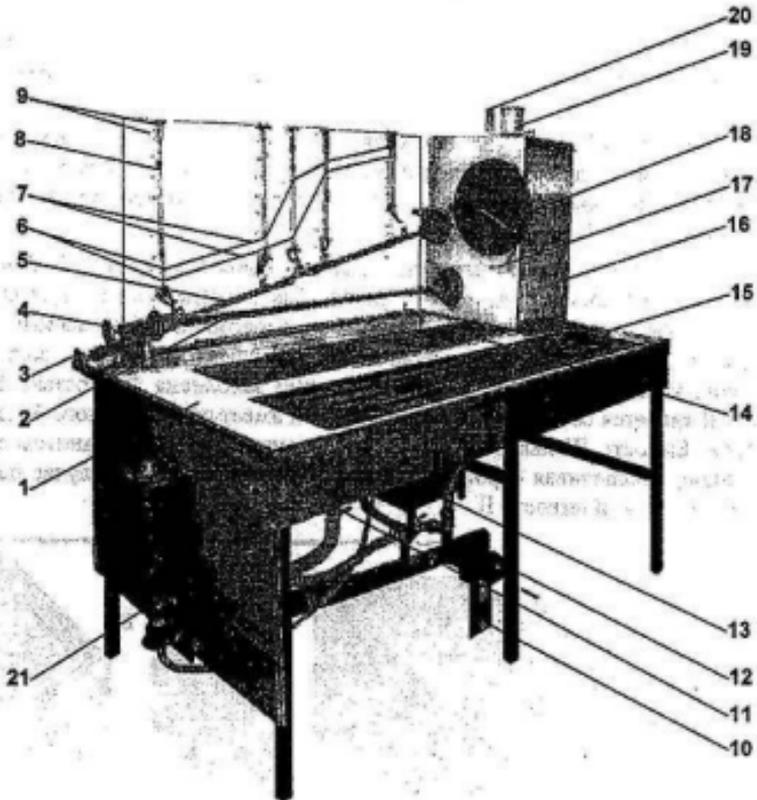


Рис. 1. Универсальный лабораторный стенд:

1 – лабораторный стол; 2 – прибор Рейнольдса; 3, 4, 11 – регулирующие вентили; 5 – рабочий участок для иллюстрации уравнения Бернулли; 6 – каретки фиксации резиновых нитей; 7 – резиновые нити; 8 – стойки; 9 – трубки Пито и пьезометры; 10 – слив; 11 – запорный кран системы измерения расхода; 13 – бак системы измерения расхода; 14 – лоток; 15 – блок моделей гидравлических сопротивлений; 16 – блок пьезометров; 17 – напорный бак; 18 – поворотная турель; 19 – бачок с подкрашенной жидкостью; 20 – рукоятка затвора; 21 – мерная трубка системы измерения расхода

2. Система измерения расхода жидкости

Вода из всех рабочих участков гидравлического стенда поступает в систему измерения расхода.

В установке используется объемный способ измерения расхода, который основан на измерении времени t заполнения фиксированного объема V мерного бака. Расчет объемного расхода Q_v в этом случае производят по формуле $Q_v = V/t$.

Этот способ измерения является не только наиболее простым, но и весьма точным. Однако следует помнить, что он применим только для измерения установившегося расхода потока жидкости, то есть при условии $Q_v = const$.

Устройство системы измерения расхода приведено на рис. 2. Основной частью устройства является открытый бак I, разделенный перегородками на три емкости. При этом внутренние перегородки бака выполнены по высоте ниже его внешних стенок. Емкость I служит для подвода воды из рабочих участков стенда и всегда полностью заполнена жидкостью. Емкость II является собственно мерным баком и имеет объем немного более 5 литров. Емкость III является резервной и выполняет предохранительную функцию, обеспечивая сброс жидкости в сливную систему в случае переполнения мерной емкости II.

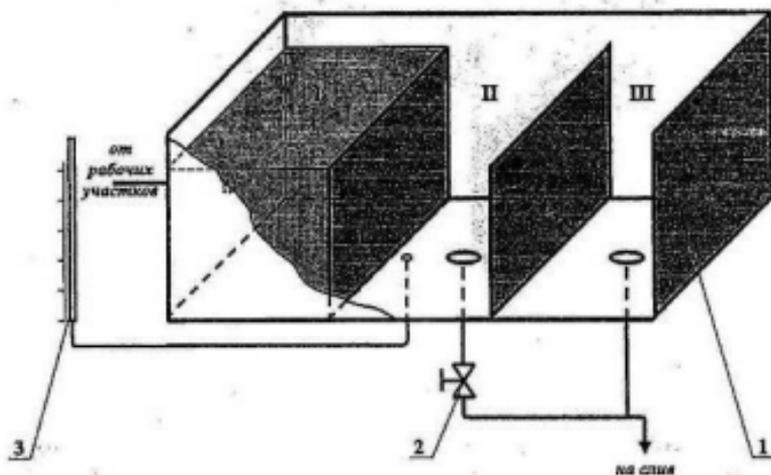


Рис. 2. Устройство системы измерения расхода:

1 – открытый бак; 2 – запорный кран; 3 – стеклянная трубка с измерительной линейкой

Для удобства наблюдения за уровнем жидкости в мерной емкости II, она гибким шлангом соединена со стеклянной трубкой 3, образуя тем самым систему сообщающихся сосудов. К стеклянной трубке 3 приложена измерительная линейка со шкалой, проградуированной в единицах объема. Одно деление шкалы соответствует 1 литру ($1 \times 10^{-3} \text{ м}^3$) объема мерной емкости II.

В процессе настройки рабочего участка гидравлического стенда на требуемый режим работы запорный кран 2 находится в открытом состоянии и поступающая из рабочего участка вода через емкость I переливается в мерную емкость II и свободно уходит в сливную систему.

Для измерения расхода необходимо перекрыть кран 2. При этом мерная емкость начнет заполняться водой, что видно по подъему уровня жидкости в стеклянной трубке 3.

При достижении уровнем жидкости в трубке ближайшей метки измерительной шкалы необходимо включить секундомер и выключить его, когда жидкость поднимется до отметки, соответствующей выбранному для замера объему жидкости (расстояние между двумя соседними метками соответствует 1 л). Время заполнения t и величину заполняемого объема V заносят в таблицу результатов эксперимента лабораторной работы и в дальнейшем используют для расчета расхода Q_v .

При выборе объема V наполнения мерной емкости следует руководствоваться правилом: объем должен быть таким, чтобы время его заполнения составляло не менее 20 + 30 сек. В противном случае точность измерения может оказаться недостаточной.

3. Измерение гидравлических величин

При выполнении лабораторных работ на универсальном лабораторном стенде производится измерение трех гидравлических величин: гидростатического напора, полного гидродинамического напора и расхода воды.

Измерение гидростатического и полного гидродинамического напоров осуществляется при помощи соответствующих приборов (рис. 3).

Гидростатический напор измеряется с помощью пьезометра, представляющего собой стеклянную трубку небольшого диаметра, один конец которой соединяется с местом измерения давления, а другой — с атмосферой (рис. 3, а).

Полный гидродинамический напор измеряется прибором, который называется трубкой Пито (рис. 3, б). Этот прибор представляет собой изогнутую под углом 90° трубку с наконечником меньшего диаметра. Изогнутой частью трубка помещается в поток жидкости и устанавливается отверстием наконечника навстречу течению. Другой конец трубки соединяется с

атмосферой.

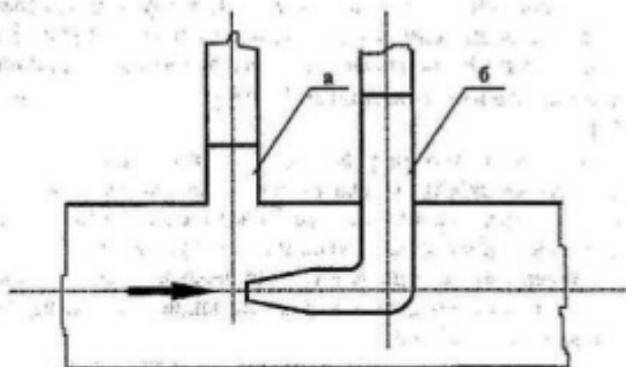


Рис. 3. Схема подключения пьезометра (а) и трубки Пито (б)

Гидростатический и полный гидродинамический напоры измеряются высотой поднятия столба жидкости в соответствующих трубках и имеют единицу измерения в системе «СИ» — метр.

Расход жидкости измеряется с помощью измерительной системы, устройство и работа которой описаны выше.

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначен универсальный гидравлический стенд?
2. Как устроена система измерения расхода жидкости?
3. Каков порядок действий при измерении расхода жидкости?
4. По каким зависимостям рассчитывают объемный расход жидкости?
5. Что называется пьезометром, и для измерения какой гидравлической величины он используется?
6. Как устроена трубка Пито, и для измерения какой гидравлической величины она используется?
7. В каких единицах измерения в системе «СИ» измеряются гидростатический и полный гидродинамический напоры?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

1. Режимы движения жидкости

Экспериментально установлено, что существует два режима движения жидкости – *ламинарный* и *турбулентный*.

При *ламинарном* (слоистом) режиме движения слои (струйки) потока жидкости скользят один относительно другого, не перемешиваясь. В условиях установившегося движения скорость в каждой точке ламинарного потока постоянна.

При *турбулентном* (вихревом) режиме отдельные слои (струйки) потока жидкости беспорядочно перемешиваются между собой, образуя множественные завихрения. Поэтому в каждой точке потока происходит быстрое изменение (пульсации) величины и направления вектора скорости около некоторого среднего значения. В условиях установившегося движения скорость турбулентного потока в каждой его точке – величина переменная.

Качественное сравнение распределения скоростей по сечению потока при ламинарном и турбулентном режимах представлено на рис. 4.

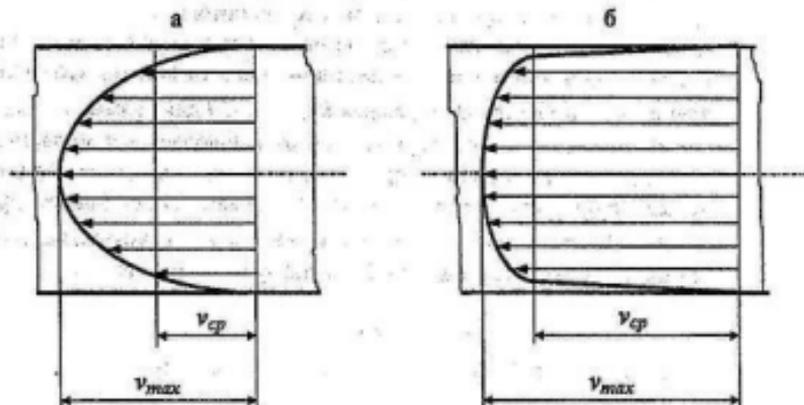


Рис. 4. Профили скорости при ламинарном (а) и турбулентном (б) режимах движения жидкости

При ламинарном режиме профиль скоростей представляет собой квадратичную параболу (рис. 4, а) и характеризуется постоянным соотношением максимальной и средней скоростей в потоке равным 2 ($\frac{v_{max}}{v_{cp}} = 2$).

При турбулентном режиме профиль скоростей выравнивается, почти приближаясь к прямоугольному (рис. 4, б), а соотношение скоростей падает, приближаясь к 1 ($\frac{v_{max}}{v_{ср}} \approx 1,05 + 1,1$).

Режим движения зависит от скорости потока, физических свойств жидкости и размеров канала, в котором происходит течение. Эти величины входят в безразмерный комплекс – число Рейнольдса, который характеризует отношение сил инерции к силам внутреннего трения, действующим в потоке

$$Re = \frac{v \cdot d_g \cdot \rho}{\mu} = \frac{v \cdot d_g}{\nu} \quad (1)$$

где v – средняя скорость по сечению потока, равная $v = Q_v/S$, м/с;

μ – динамический коэффициент вязкости жидкости, Па·с;

ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости, м²/с;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

d_g – эквивалентный (гидравлический) диаметр трубы, равный $d_g = 4S/\Pi$, м;

S – площадь поперечного сечения трубы, м²;

Π – смоченный периметр, т.е. длина границы соприкосновения жидкости со стенкой трубы в данном сечении потока, м.

Принято считать, что переход от ламинарного к турбулентному режиму движения происходит при определенном так называемом критическом значении числа Рейнольдса, равном $Re_{кр} = 2320$ для прямых гладких круглых труб. При $Re \leq 2320$ в круглых трубах наблюдается ламинарный режим движения, при $Re > 2320$ – турбулентный режим движения. Однако неустойчивый ламинарный режим движения может существовать при $Re > Re_{кр}$ ($Re \approx 2320 + 4000$). При этом даже небольшое возмущение, вносимое в поток, вызывает переход к турбулентному режиму движения.

2. Цель работы

1. Визуальное наблюдение ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости.
2. Определение числа Рейнольдса при ламинарном и турбулентном режимах движения жидкости.
3. Определение критического значения числа Рейнольдса.

3. Описание рабочего участка

Рабочим участком для проведения лабораторной работы является прибор Рейнольдса (рис. 5), который представляет собой стеклянную труб-

ку, по которой из напорного бака течет поток воды. Расход воды регулируют вентилем, установленным на конце трубки, а его величину определяют при помощи системы измерения расхода жидкости. На входе в стеклянную трубку строго на ее оси установлен тонкий капилляр, через который в поток, из небольшого бачка с запорным краном, поступает тонкая струйка подкрашенной жидкости.

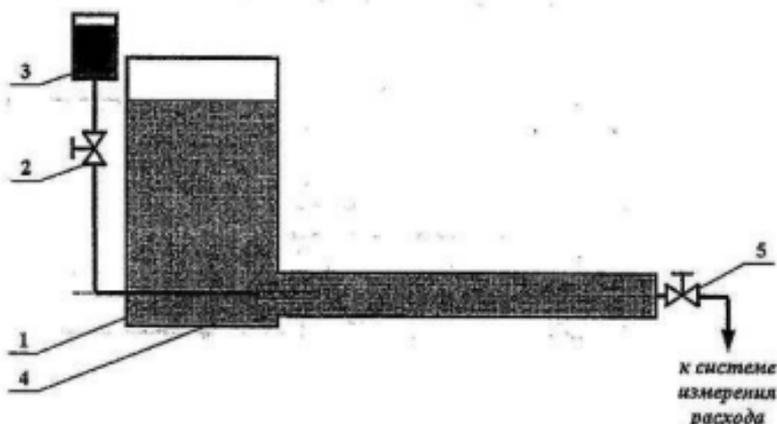


Рис. 5. Прибор Рейнольдса:

1 – напорный бак; 2 – вентиль для пуска подкрашенной жидкости; 3 – бачок для подкрашенной жидкости; 4 – капилляр; 5 – кран для регулирования расхода воды

4. Порядок выполнения работы

1. Опыт I (определение числа Рейнольдса при ламинарном режиме)

Приоткрыть кран 5 (рис. 5) и вентиль для пуска подкрашенной жидкости 2 из бачка 3, находящиеся за напорным баком 1. Регулируя расход воды краном 5, добиться скорости течения, при которой окрашенная струйка, выходящая из капилляра 4, не размывается и не смешивается с основным потоком жидкости, – это ламинарный режим движения (рис. 6, а). Определить расход жидкости и занести данные в таблицу результатов эксперимента. Зарисовать эскиз картины течения.

2. Опыт II (определение числа Рейнольдса при турбулентном режиме)

Медленно открывая кран 5 добиться полного смешения окрашенной струйки с потоком жидкости – это турбулентный режим движения (рис. 6, б). Определить расход жидкости и занести данные в таблицу результатов эксперимента. Зарисовать эскиз картины течения.

3. Опыт III (определение критического числа Рейнольдса)

Медленно закрывая кран 5 добиться волнообразного, слегка пульсирующего движения окрашенной струйки в основном потоке – это переход ламинарного в турбулентный режим движения (рис. 6, в). Определить расход жидкости и занести данные в таблицу результатов эксперимента. Зарисовать эскиз картины течения.

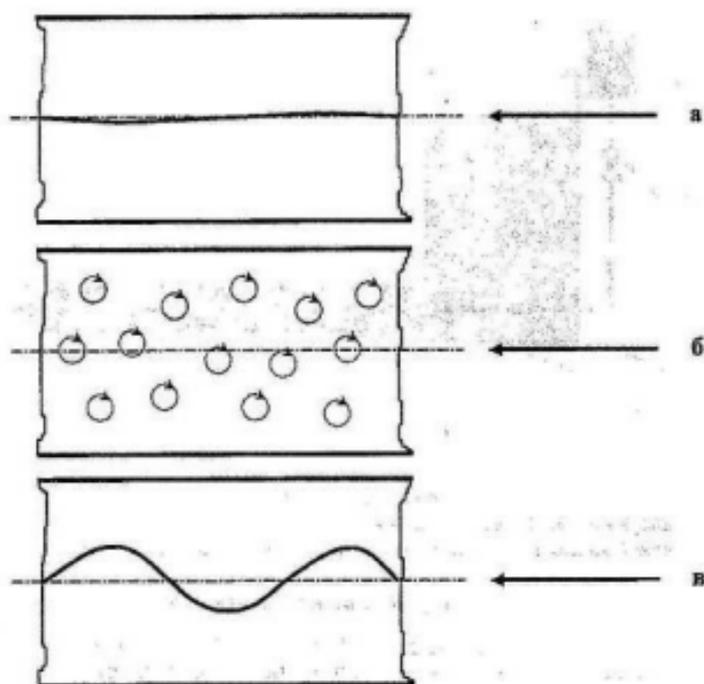


Рис. 6. Режимы движения жидкости:

а - ламинарный; б - турбулентный; в - при $Re \approx Re_{кр}$

5. Обработка результатов

1. Рассчитать площадь сечения S трубки Рейнольдса, среднюю скорость v в ней и число Рейнольдса Re .

Средняя скорость движения жидкости определяется по формуле

$$v = \frac{Q_v}{S} \quad (2)$$

Примечание: внутренний диаметр трубки Рейнольдса равен $d = 2 \times 10^{-3}$ м.

Вязкость жидкости зависит от температуры и с ее повышением падает. В условиях проведения лабораторной работы можно принять температуру воды, равной 16 °С. При этом кинематический коэффициент вязкости составит $\nu = 1,15 \text{ м}^2/\text{с}$.

2. Сопоставить полученные в опытах значения чисел Рейнольдса с визуально наблюдаемой картиной течения и сделать выводы об их соответствии.

Контрольные вопросы

1. Какова цель проведения данной лабораторной работы?
2. Каков порядок выполнения лабораторной работы?
3. Какие характеристики необходимо измерять в процессе выполнения данной лабораторной работы?
4. Что собой представляет прибор Рейнольдса?
5. Какие режимы движения жидкости различают?
6. Какая форма профиля скорости по сечению канала при ламинарном и турбулентном движении вязкой жидкости?
7. Изменяется ли отношение максимальной скорости на оси трубы к средней в зависимости от режима движения жидкости?
8. Чему равен коэффициент Кориолиса при ламинарном и турбулентном движении вязкой жидкости?
9. Какие параметры определяют режим движения жидкости в трубе?
10. По какой формуле определяется число Рейнольдса?
11. Что характеризует число Рейнольдса?
12. Какая скорость подставляется в выражение для определения числа Рейнольдса?
13. Как определить эквивалентный диаметр потока с произвольной формой сечения канала для вычисления числа Рейнольдса?
14. В каких единицах выражаются кинематический и динамический коэффициенты вязкости в различных системах измерения?
15. Зависит ли кинематический коэффициент вязкости воды от температуры?
16. Какова величина критического числа Рейнольдса при переходе от ламинарного к турбулентному режиму движения жидкости?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ИЛЛУСТРАЦИЯ УРАВНЕНИЯ Д. БЕРНУЛЛИ ДЛЯ ПОТОКА РЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ

1. Уравнение Д. Бернулли для потока реальной жидкости

Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости при установившемся движении, записанный для двух сечений в единицах напора (в метрах высоты столба жидкости), имеет следующий вид:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + h_{1-2} \quad (3)$$

Графически это уравнение может быть представлено диаграммой (рис. 7).

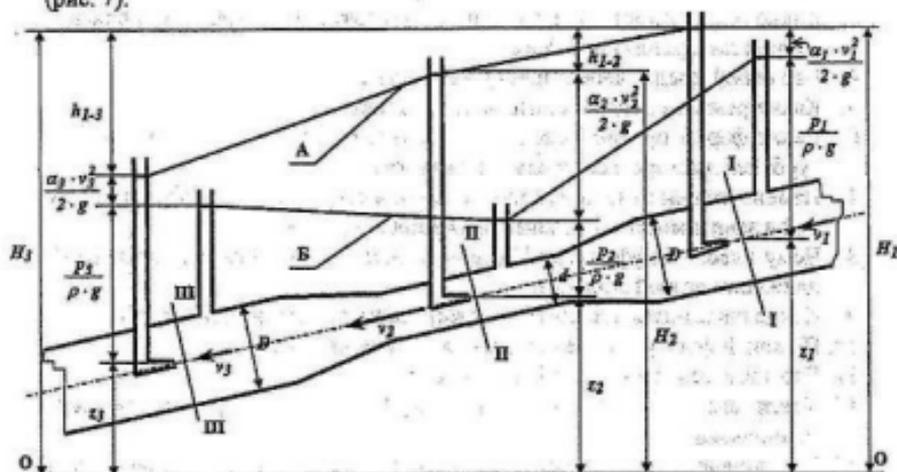


Рис. 7. Графическая иллюстрация уравнения Бернулли для потока реальной жидкости

В технической практике все члены уравнения Бернулли, записанного в форме уравнения (3), принято называть соответствующими "напорами":

z_1 — геометрический напор (геометрическая высота центра тяжести живого сечения потока жидкости над произвольно выбранной горизонтальной плоскостью сравнения), характеризующий удельную потенциальную энергию положения жидкости в рассматриваемом сечении потока, м;

$p_1/\rho \cdot g$ — пьезометрический напор (высота поднятия жидкости в пьезометре относительно центра тяжести живого сечения потока), характеризующий удельную потенциальную энергию давления жидкости в рассматриваемом сечении потока, м;

$(z_i + p_i / \rho \cdot g)$ – гидростатический напор (высота поднятия жидкости в пьезометре относительно выбранной плоскости сравнения), характеризующий общую удельную потенциальную энергию жидкости в любой точке данного живого сечения потока, м;

$\alpha_i \cdot v_i^2 / 2 \cdot g$ – скоростной напор (высота поднятия жидкости в трубке Пито относительно уровня жидкости в пьезометре), характеризующий удельную кинетическую энергию жидкости в рассматриваемом сечении потока, м;

здесь: p_i – давление жидкости в рассматриваемом сечении потока, Па;

v_i – средняя скорость в живом сечении потока, м/с;

α_i – коэффициент Кориолиса, представляющий собой отношение действительной кинетической энергии массы жидкости, протекающей через живое сечение в единицу времени, к кинетической энергии той же массы жидкости, вычисленной в предположении, что скорость во всех точках живого сечения равна средней скорости, 1. Коэффициент Кориолиса зависит от режима движения жидкости: при ламинарном движении $\alpha = 2$, при турбулентном – $\alpha = 1,05 + 1,1$ (в практических расчетах принимают $\alpha = 1$);

h_{1-2} – полные потери напора при движении жидкости на всем участке между рассматриваемыми сечениями потока I-II (разность показаний уровней жидкости трубок Пито в рассматриваемых сечениях), характеризующие потери полной удельной энергии жидкости на участке между рассматриваемыми сечениями потока, м.

Сумма всех трех членов уравнения Бернулли

$z_i + \frac{p_i}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_i \cdot v_i^2}{2 \cdot g} = H$ – называется полным гидродинамическим напором (высота поднятия жидкости в трубке Пито относительно выбранной плоскости сравнения), который характеризует собой полную удельную энергию жидкости в рассматриваемом сечении потока.

Кривая А изменения полного гидродинамического напора вдоль потока называется напорной линией. Падение полного гидродинамического напора на единицу длины называется гидравлическим уклоном

$$J = \frac{h_{1-2}}{l_{1-2}}, \quad (4)$$

где l_{1-2} – расстояние между сечениями I-II. Гидравлический уклон имеет только положительные значения, т.е. всегда направлен в сторону течения.

Кривая Б изменения гидростатического напора вдоль потока называется пьезометрической линией (т.к. проходит по показаниям пьезометров). Изменение гидростатического напора на единицу длины называется

пьезометрическим уклоном

$$J_W = \frac{\left(z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g}\right)}{l_{1-2}} \quad (5)$$

Пьезометрический уклон может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

При равномерном движении напорная и пьезометрическая линии представляют собой взаимно параллельные прямые.

Совокупность кривых А, Б и оси трубопровода, построенных относительно выбранной плоскости сравнения, принято называть диаграммой Бернулли. Она позволяет наглядно представить изменение напора по длине трубопровода и, построенная в масштабе, служит для определения всех составляющих полного гидродинамического напора для любого сечения трубопровода.

Умножив каждый член уравнения (3) на $\rho \cdot g$ можно получить уравнение Бернулли в единицах давления (каждый член уравнения имеет размерность - Па)

$$\rho \cdot g \cdot z_1 + p_1 + \frac{\rho \cdot \alpha_1 \cdot v_1^2}{2} = \rho \cdot g \cdot z_2 + p_2 + \frac{\rho \cdot \alpha_2 \cdot v_2^2}{2} + \Delta p_{1-2},$$

где Δp_{1-2} - полные потери давления при движении жидкости на всем участке между рассматриваемыми сечениями потока I-II.

2. Цель работы

1. Экспериментальная проверка уравнения Бернулли при двух значениях расхода воды в трубопроводе.
2. Визуальное наблюдение за изменениями напоров по длине трубопровода переменного сечения.
3. Сопоставление экспериментального и расчетного способов определения гидродинамического напора и скорости в потоке при различных режимах течения жидкости.

3. Описание рабочего участка

Рабочий участок для исследования уравнения Бернулли представляет собой наклонную металлическую трубку переменного сечения, по которой из напорного бака течет вода. Расход воды регулируют вентилем, установленным на конце трубки, а его величину определяют при помощи системы измерения расхода жидкости.

По длине трубки выделено пять сечений, в каждом из которых смонтированы два прибора - пьезометр (справа) и трубка Пито (слева). Для измерения высоты столба жидкости в этих приборах имеются измерительные линейки. Начало отсчета в них совмещено со столешницей лабораторного стола, которая является в данном случае плоскостью сравнения.

4. Порядок выполнения работы

1. Медленно открываю вентиль 3 установить ламинарный режим течения жидкости (при ламинарном течении скоростной напор в узком сечении трубопровода не превышает 10-12 мм).

2. Снять показания полного гидродинамического и гидростатического напоров в 5-ти сечениях трубопровода и занести в таблицу результатов эксперимента.

3. Определить расход жидкости и занести данные в таблицу результатов эксперимента.

4. С помощью кареток 5 и растяжных нитей зафиксировать положение линии полного и пьезометрического напоров.

5. С помощью регулировочного вентиля 3 увеличить расход воды до достижения турбулентного течения и произвести измерения по п.п. 2-4.

5. Обработка результатов

1. По показаниям приборов для каждого сечения вычислить гидродинамические напоры, скорость жидкости на оси потока и потери напора на участках между соседними сечениями.

2. Подсчитать средние скорости движения во всех сечениях трубы и числа Рейнольдса.

3. По значениям средней скорости рассчитать гидродинамические напоры во всех сечениях.

4. Сопоставить значения гидродинамических напоров, рассчитанных по средней скорости со значениями, полученными по показаниям приборов и сделать вывод об их соответствии.

5. Начертить в масштабе диаграммы Бернулли для двух опытов, выделив их для большей наглядности разным цветом.

Контрольные вопросы

1. Какова цель проведения данной лабораторной работы?
2. Каков порядок выполнения лабораторной работы?
1. Какие характеристики необходимо измерять в процессе выполнения данной лабораторной работы?
3. Какие гидравлические величины измеряют пьезометр и трубка Пито?
4. В чем состоит энергетический и геометрический смысл уравнения Бернулли?
5. Запишите уравнения Бернулли для потока реальной жидкости в единицах напора и в единицах давления.
6. Как изменится уравнение Бернулли для идеальной жидкости?
7. Каков физический смысл коэффициента кинетической энергии α (коэффициента Кориолиса) в уравнении Бернулли для потока реальной жидкости?
8. Какие члены уравнения Бернулли выражают геометрический напор,

пъезометрический напор, гидростатический напор, скоростной напор, полный гидродинамический напор, полные потери напора при движении жидкости на всем участке между рассматриваемыми сечениями потока?

9. Что называется напорной линией, пъезометрической линией?
10. Что называют гидравлическим уклоном и почему он может быть только положительным?
11. Что называют пъезометрическим уклоном, и в каком случае он может иметь отрицательный знак?
12. Что называют диаграммой Бернулли?
13. Что можно определить при помощи диаграммы Бернулли?
14. В чем причина отличия значений скоростного напора, рассчитанного по средней скорости и экспериментально определенного по показаниям пъезометра и трубки Пито?

Литература

1. Обливин А.Н., Прокофьев Н.С., Киприанов А.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник. – М.: МГУЛ, 2002. – 656 с.
2. Осипов П.Е. Гидравлика, гидравлические машины и гидропривод. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 424 с.
3. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидравлические машины и гидроприводы. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.
4. Лебедев Н.И. Гидравлика, гидравлические машины и объемный гидропривод. – М.: МГУЛ, 2000. – 232 с.

Содержание

Введение	3
Описание универсального стенда	4
Лабораторная работа № 2 Определение режимов движения жидкости	9
Лабораторная работа № 3 Экспериментальная иллюстрация уравнения Д. Бернулли для потока реальной жидкости	14
Литература	19

